(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113021340 A

(43)申请公布日 2021.06.25

(21)申请号 202110283625.3

(22)申请日 2021.03.17

(71)申请人 华中科技大学鄂州工业技术研究院
地址 436044 湖北省鄂州市梧桐湖新区凤凰大道特一号
申请人 华中科技大学

(72)发明人 武士达　周艳红　杨兆万

(74)专利代理机构 北京众达德权知识产权代理有限公司 11570
代理人 张晓冬

(51)Int.Cl.
B25J 9/16(2006.01)
B25J 13/00(2006.01)
B25J 13/08(2006.01)

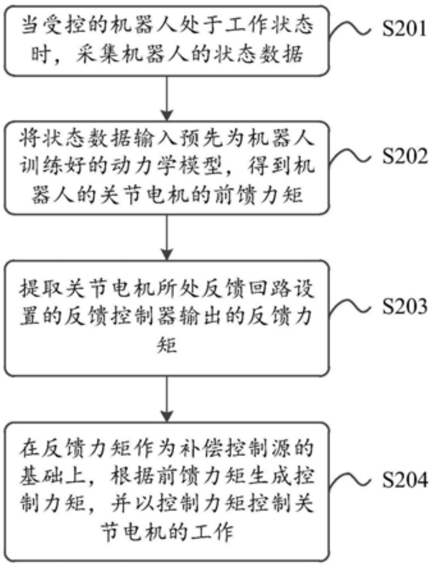
权利要求书2页　说明书14页　附图3页

(54)发明名称

机器人的控制方法、装置、设备及计算机可读存储介质

(57)摘要

本申请提供了机器人的控制方法、装置、设备及计算机可读存储介质，可在未使用力矩传感器的条件下，为机器人的碰撞检测处理提供关节处的力矩数据，可避免配置力矩传感器带来的硬件成本以及构造改动成本。本申请提供的一种机器人的控制方法，包括：当受控的机器人处于工作状态时，采集机器人的状态数据；将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型，得到机器人的关节电机的前馈力矩；提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩；在反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据前馈力矩生成控制力矩，并以控制力矩控制关节电机的工作。



CN 113021340 A

1.一种机器人的控制方法，其特征在于，所述方法包括：

当受控的机器人处于工作状态时，采集所述机器人的状态数据；

将所述状态数据输入预先为所述机器人训练好的动力学模型，得到所述机器人的关节电机的前馈力矩；

提取所述关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩；

在所述反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据所述前馈力矩生成控制力矩，并以所述控制力矩控制所述关节电机的工作。

2.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述动力学模型具体为神经网络模型，所述神经网络模型是通过标注有对应前馈力矩的不同状态数据训练得到的。

3.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

将所述反馈力矩与反馈力矩突变阈值进行比对，所述反馈力矩突变阈值为所述机器人的碰撞事件配置的所述反馈力矩的突变阈值；

若所述反馈力矩达到所述反馈力矩突变阈值，则确定发生所述机器人的碰撞事件，所述碰撞事件用于指示所述机器人发生碰撞。

4.根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述反馈力矩突变阈值是跟随所述机器人的动态运动状态设置的，所述反馈力矩突变阈值通过以下计算公式计算得到：

$$b(t)=\alpha_i v_i+\beta_i\tanh(a_i)(1-\tanh(\varsigma_i v_i^{\mu_i}))+t_{0,i},$$

其中，i用于指示所述关节电机所属关节的关节标识，v_i用于指示运行速度，a_i用于指示加速度，α_i用于指示第一增益，β_i用于指示第二增益，ς_i、μ_i分别用于指示tanh函数在零值附近的突变速度以及形式，$t_{0,i}$用于指示所述关节的基础偏置值。

5.根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述确定发生所述机器人的碰撞事件之后，所述方法还包括：

根据所述反馈力矩的力矩特征，确定所述碰撞事件的碰撞类型；

根据所述碰撞类型，确定所述机器人对所述碰撞事件的安全响应策略；

执行所述安全响应策略。

6.根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述根据所述反馈力矩的力矩特征，确定所述碰撞事件的碰撞类型，包括：

确定所述反馈力矩的维持时长t以及增长速率η；

若$\eta\geq\eta_{v,r}-\eta_{v,r}^{-}$、$t>t_v$，确定刚性物体碰撞类型，$\eta_{v,r}$以及$t_v$分别为所述机器人在所述反馈力矩对应当前速度v下测得的刚性增长速度以及维持时长，$\eta_{v,r}^{-}$为预设的增长速度负向偏置；

其中，若$\eta\geq\eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$，确定所述碰撞物体与所述机器人相向运动；若$\eta<\eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$，确定所述碰撞物体与所述机器人同向运动；若$\eta<\eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$且$\eta\geq\eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$，确定所述碰撞物体为静止碰撞物体，$w_r^{+}$以及$w_r^{-}$分别为预设的刚性增长速度正向增益以及刚性增长速度负向增益；

若$\eta<\eta_{v,f}+\eta_{v,f}^{+}$，确定柔性物体碰撞类型，$\eta_{v,f}$为所述机器人在所述反馈力矩对应当前

速度v下测得的柔性增长速度，$\eta_{v,f}^{+}$为预设的增长速度正向偏置；

其中，若$\eta \geq \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$，确定所述碰撞物体与所述机器人相向运行；若$\eta < \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定所述碰撞物体与所述机器人同向运动；若$\eta < \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$且$\eta \geq \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定所述碰撞物体为静止碰撞物体，$w_f^{+}$以及$w_f^{-}$分别为预设的柔性增长速度正向增益以及柔性增长速度负向增益；

若未确定所述刚性物体碰撞类型，也未确定所述柔性物体碰撞类型，则确定试探性物体碰撞类型。

7.根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述根据所述碰撞类型，确定所述机器人对所述碰撞事件的安全响应策略，包括：

若所述碰撞类型为同向运动，则确定比例缩减运动趋势的安全响应策略；

若所述碰撞类型为相向运动且为所述刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

若所述碰撞类型为相向运动且为所述柔性物体碰撞类型，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

若所述碰撞类型为所述静止碰撞物体且为所述刚性物体碰撞类型，则确定所述回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

若所述碰撞类型为所述静止碰撞物体且为所述柔性物体碰撞类型且处于人机协作环境，则确定所述零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

若所述碰撞类型为所述静止碰撞物体且为所述柔性物体碰撞类型且未处于人机协作环境，则确定所述回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略。

8.一种机器人的控制装置，其特征在于，所述装置包括：

采集单元，用于当受控的机器人处于工作状态时，采集所述机器人的状态数据；

输入单元，用于将所述状态数据输入预先为所述机器人训练好的动力学模型，得到所述机器人的关节电机的前馈力矩；

提取单元，用于提取所述关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩；

生成单元，用于在所述反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据所述前馈力矩生成控制力矩；

控制单元，用于以所述控制力矩控制所述关节电机的工作。

9.一种机器人的控制设备，其特征在于，包括处理器和存储器，所述存储器中存储有计算机程序，所述处理器调用所述存储器中的计算机程序时执行如权利要求1至7任一项所述的方法。

10.一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有多条指令，所述指令适于处理器进行加载，以执行权利要求1至7任一项所述的方法。

机器人的控制方法、装置、设备及计算机可读存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及机器人控制领域，具体涉及机器人的控制方法、装置、设备及计算机可读存储介质。

背景技术

[0002] 如今，机器人在自动化的工业生产中，扮演着重要的角色，通过机器人的大规模应用，在稳定的产品质量的情况下，极大的提高了生产效率。

[0003] 而伴随机器人技术的逐步更新，很多类型的机器人的体积也呈现出逐步精简化的发展趋势，尤其一些注重人机协作性能的机器人，在体积逐步精简化的同时，用户与机器人之间的距离也出现逐步缩短的趋势，也因此，机器人在工作过程中，其碰撞检测格外重要，良好的碰撞检测技术，可使得机器人遇到碰撞事件时，科根据碰撞检测结果进行更好的反应，不仅可减少机器人与其他机器人、设备造成碰撞时带来的损失，更重要的是还可避免机器人对用户带来安全隐患。

[0004] 而在现有的相关技术的研究过程中，发明人发现，在一些机器人碰撞检测技术中，力矩感知作为机器人碰撞检测过程中的重要一环，需要机器人在对应关节处安装单维力矩传感器，以进行关节力矩的测量，进而根据关节力矩监控实现碰撞检测，在该背景下，机器人在关节的构造上需要适配力矩传感器，若机器人原先未在关节处安装力矩传感器，还需进行关节构造的改动，甚至可能还需对机器人的整体构造进行改动，而对于这类机器人适配力矩传感器进行的构造改动，显然，成本耗费无疑是巨大的，这影响了机器人碰撞检测技术的应用。

发明内容

[0005] 本申请提供了机器人的控制方法、装置、设备及计算机可读存储介质，可在未使用力矩传感器的条件下，为机器人的碰撞检测处理提供关节处的力矩数据，可避免配置力矩传感器带来的硬件成本以及构造改动成本。

[0006] 第一方面，本申请提供了一种机器人的控制方法，方法包括：

[0007] 当受控的机器人处于工作状态时，采集机器人的状态数据；

[0008] 将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型，得到机器人的关节电机的前馈力矩；

[0009] 提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩；

[0010] 在反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据前馈力矩生成控制力矩，并以控制力矩控制关节电机的工作。

[0011] 结合本申请第一方面，在本申请第一方面第一种可能的实现方式中，动力学模型具体为神经网络模型，神经网络模型是通过标注有对应前馈力矩的不同状态数据训练得到的。

[0012] 结合本申请第一方面，在本申请第一方面第二种可能的实现方式中，方法还包括：

[0013] 将反馈力矩与反馈力矩突变阈值进行比对,反馈力矩突变阈值为机器人的碰撞事件配置的反馈力矩的突变阈值;

[0014] 若反馈力矩达到反馈力矩突变阈值,则确定发生机器人的碰撞事件,碰撞事件用于指示机器人发生碰撞。

[0015] 结合本申请第一方面第二种可能的实现方式,在本申请第一方面第三种可能的实现方式中,反馈力矩突变阈值是跟随机器人的动态运动状态设置的,反馈力矩突变阈值通过以下计算公式计算得到:

[0016] $b(t)=\alpha_i v_i+\beta_i \tanh(a_i)(1-\tanh(\varsigma_i v_i^{\mu_i}))+t_{0,i}$,

[0017] 其中,i用于指示关节电机所属关节的关节标识,v_i用于指示运行速度,a_i用于指示加速度,α_i用于指示第一增益,β_i用于指示第二增益,ς_i、μ_i分别用于指示tanh函数在零值附近的突变速度以及形式,$t_{0,i}$用于指示关节的基础偏置值。

[0018] 结合本申请第一方面第二种可能的实现方式,在本申请第一方面第四种可能的实现方式中,确定发生机器人的碰撞事件之后,方法还包括:

[0019] 根据反馈力矩的力矩特征,确定碰撞事件的碰撞类型;

[0020] 根据碰撞类型,确定机器人对碰撞事件的安全响应策略;

[0021] 执行安全响应策略。

[0022] 结合本申请第一方面第四种可能的实现方式,在本申请第一方面第五种可能的实现方式中,根据反馈力矩的力矩特征,确定碰撞事件的碰撞类型,包括:

[0023] 确定反馈力矩的维持时长t以及增长速率η;

[0024] 若$\eta \geq \eta_{v,r}-\eta_{v,r}^{-}$、$t>t_v$,确定刚性物体碰撞类型,$\eta_{v,r}$以及$t_v$分别为机器人在反馈力矩对应当前速度v下测得的刚性增长速度以及维持时长,$\eta_{v,r}^{-}$为预设的增长速度负向偏置;

[0025] 其中,若$\eta \geq \eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人相向运动;若$\eta<\eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人同向运动;若$\eta<\eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$且$\eta \geq \eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体为静止碰撞物体,$w_r^{+}$以及$w_r^{-}$分别为预设的刚性增长速度正向增益以及刚性增长速度负向增益;

[0026] 若$\eta<\eta_{v,f}+\eta_{v,f}^{+}$,确定柔性物体碰撞类型,$\eta_{v,f}$为机器人在反馈力矩对应当前速度v下测得的柔性增长速度,$\eta_{v,f}^{+}$为预设的增长速度正向偏置;

[0027] 其中,若$\eta \geq \eta_{v,f}+w_f^{+}\eta_{v,f}$,确定碰撞物体与机器人相向运行;若$\eta<\eta_{v,f}-w_f^{-}\eta_{v,f}$,确定碰撞物体与机器人同向运动;若$\eta<\eta_{v,f}+w_f^{+}\eta_{v,f}$且$\eta \geq \eta_{v,f}-w_f^{-}\eta_{v,f}$,确定碰撞物体为静止碰撞物体,$w_f^{+}$以及$w_f^{-}$分别为预设的柔性增长速度正向增益以及柔性增长速度负向增益。

[0028] 若未确定刚性物体碰撞类型,也未确定柔性物体碰撞类型,则确定试探性物体碰撞类型。

[0029] 结合本申请第一方面第五种可能的实现方式,在本申请第一方面第六种可能的实现方式中,根据碰撞类型,确定机器人对碰撞事件的安全响应策略,包括:

[0030] 若碰撞类型为同向运动,则确定比例缩减运动趋势的安全响应策略;

[0031] 若碰撞类型为相向运动且为刚性物体碰撞类型,则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略;

[0032] 若碰撞类型为相向运动且为柔性物体碰撞类型,则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略;

[0033] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为刚性物体碰撞类型,则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略;

[0034] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且处于人机协作环境,则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略;

[0035] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且未处于人机协作环境,则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略。

[0036] 第二方面,本申请提供了一种机器人的控制装置,装置包括:

[0037] 采集单元,用于当受控的机器人处于工作状态时,采集机器人的状态数据;

[0038] 输入单元,用于将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型,得到机器人的关节电机的前馈力矩;

[0039] 提取单元,用于提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩;

[0040] 生成单元,用于在反馈力矩作为补偿控制源的基础上,根据前馈力矩生成控制力矩;

[0041] 控制单元,用于以控制力矩控制关节电机的工作。

[0042] 结合本申请第二方面,在本申请第二方面第一种可能的实现方式中,动力学模型具体为神经网络模型,神经网络模型是通过标注有对应前馈力矩的不同状态数据训练得到的。

[0043] 结合本申请第二方面,在本申请第二方面第二种可能的实现方式中,装置还包括判断单元,用于:

[0044] 将反馈力矩与反馈力矩突变阈值进行比对,反馈力矩突变阈值为机器人的碰撞事件配置的反馈力矩的突变阈值;

[0045] 若反馈力矩达到反馈力矩突变阈值,则确定发生机器人的碰撞事件,碰撞事件用于指示机器人发生碰撞。

[0046] 结合本申请第二方面第二种可能的实现方式,在本申请第二方面第三种可能的实现方式中,反馈力矩突变阈值是跟随机器人的动态运动状态设置的,反馈力矩突变阈值通过以下计算公式计算得到:

[0047] $b(t)=\alpha_i v_i+\beta_i\tanh(a_i)(1-\tanh(\varsigma_i v_i^{\mu_i}))+t_{0,i}$,

[0048] 其中,i用于指示关节电机所属关节的关节标识,v_i用于指示运行速度,a_i用于指示加速度,α_i用于指示第一增益,β_i用于指示第二增益,ς_i、μ_i分别用于指示tanh函数在零值附近的突变速度以及形式,$t_{0,i}$用于指示关节的基础偏置值。

[0049] 结合本申请第二方面第二种可能的实现方式,在本申请第二方面第四种可能的实现方式中,装置还包括响应单元,用于:

[0050] 根据反馈力矩的力矩特征,确定碰撞事件的碰撞类型;

[0051] 根据碰撞类型,确定机器人对碰撞事件的安全响应策略;

[0052] 执行安全响应策略。

[0053] 结合本申请第二方面第四种可能的实现方式，在本申请第二方面第五种可能的实现方式中，响应单元，具体用于：

[0054] 确定反馈力矩的维持时长t以及增长速率η；

[0055] 若$\eta \geq \eta_{v,r} - \eta_{v,r}^{-}$、$t > t_v$，确定刚性物体碰撞类型，$\eta_{v,r}$以及$t_v$分别为机器人在反馈力矩对应当前速度v下测得的刚性增长速度以及维持时长，$\eta_{v,r}^{-}$为预设的增长速度负向偏置；

[0056] 其中，若$\eta \geq \eta_{v,r} + w_r^{+}\eta_{v,r}$，确定碰撞物体与机器人相向运动；若$\eta < \eta_{v,r} - w_r^{-}\eta_{v,r}$，确定碰撞物体与机器人同向运动；若$\eta < \eta_{v,r} + w_r^{+}\eta_{v,r}$且$\eta \geq \eta_{v,r} - w_r^{-}\eta_{v,r}$，确定碰撞物体为静止碰撞物体，$w_r^{+}$以及$w_r^{-}$分别为预设的刚性增长速度正向增益以及刚性增长速度负向增益；

[0057] 若$\eta < \eta_{v,f} + \eta_{v,f}^{+}$，确定柔性物体碰撞类型，$\eta_{v,f}$为机器人在反馈力矩对应当前速度v下测得的柔性增长速度，$\eta_{v,f}^{+}$为预设的增长速度正向偏置；

[0058] 其中，若$\eta \geq \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体与机器人相向运行；若$\eta < \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体与机器人同向运动；若$\eta < \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$且$\eta \geq \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体为静止碰撞物体，$w_f^{+}$以及$w_f^{-}$分别为预设的柔性增长速度正向增益以及柔性增长速度负向增益；

[0059] 若未确定刚性物体碰撞类型，也未确定柔性物体碰撞类型，则确定试探性物体碰撞类型。

[0060] 结合本申请第二方面第五种可能的实现方式，在本申请第二方面第六种可能的实现方式中，响应单元，具体用于：

[0061] 若碰撞类型为同向运动，则确定比例缩减运动趋势的安全响应策略；

[0062] 若碰撞类型为相向运动且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0063] 若碰撞类型为相向运动且为柔性物体碰撞类型，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0064] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0065] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且处于人机协作环境，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0066] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且未处于人机协作环境，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略。

[0067] 第三方面，本申请提供了一种机器人的控制设备，包括处理器和存储器，存储器中存储有计算机程序，处理器调用存储器中的计算机程序时执行本申请第一方面或者本申请第一方面任一种可能的实现方式提供的方法。

[0068] 第四方面，本申请提供了一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质存储有多条指令，指令适于处理器进行加载，以执行本申请第一方面或者本申请第一方面任一种可能的实现方式提供的方法。

[0069] 从以上内容可得出，本申请具有以下的有益效果：

[0070] 针对于机器人的碰撞检测处理，本申请搭建了一以动力学前馈为主体、反馈控制为辅助的机器人控制框架，在该框架下，将采集到的机器人的状态数据通过动力学模型，生成关节电机的前馈力矩，并将该关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩，视为外部作用力的观测器，作为补偿控制源，结合前馈力矩以及反馈力矩两者生成关节电机的控制力矩，以控制关节电机的工作，在该过程中，由于在未使用力矩传感器的条件下，为机器人的碰撞检测处理提供关节处的力矩数据，可避免配置力矩传感器带来的硬件成本以及构造改动成本。

附图说明

[0071] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0072] 图1为本申请机器人的控制方法的一种场景示意图；

[0073] 图2为本申请机器人的控制方法的一种流程示意图；

[0074] 图3为本申请策略状态转移处理的一种场景示意图；

[0075] 图4为本申请机器人的控制装置的一种结构示意图；

[0076] 图5为本申请机器人的控制设备的一种结构示意图。

具体实施方式

[0077] 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

[0078] 本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的实施例能够以除了在这里图示或描述的内容以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或模块的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或模块，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或模块。在本申请中出现的对步骤进行的命名或者编号，并不意味着必须按照命名或者编号所指示的时间/逻辑先后顺序执行方法流程中的步骤，已经命名或者编号的流程步骤可以根据要实现的技术目的变更执行次序，只要能达到相同或者相类似的技术效果即可。

[0079] 本申请中所出现的模块的划分，是一种逻辑上的划分，实际应用中实现时可以有另外的划分方式，例如多个模块可以结合成或集成在另一个系统中，或一些特征可以忽略，或不执行，另外，所显示的或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，模块之间的间接耦合或通信连接可以是电性或其他类似的形式，本申请中均不作限定。并且，作为分离部件说明的模块或子模块可以是也可以不是物理上的分离，可以是也

可以不是物理模块,或者可以分布到多个电路模块中,可以根据实际的需要选择其中的部分或全部模块来实现本申请方案的目的。

[0080] 在介绍本申请提供的机器人的控制方法之前,首先介绍本申请所涉及的背景内容。

[0081] 本申请提供的机器人的控制方法、装置以及计算机可读存储介质,可应用于机器人的控制设备上,可在未使用力矩传感器的条件下,为机器人的碰撞检测处理提供关节处的力矩数据,可避免配置力矩传感器带来的硬件成本以及构造改动成本。

[0082] 本申请提及的机器人的控制方法,其执行主体可以为机器人的控制装置,或者集成了该机器人的控制装置的服务器、物理主机或者用户设备(User Equipment,UE)等机器人的控制设备。其中,机器人的控制装置可以采用硬件或者软件的方式实现,UE具体可以为智能手机、平板电脑、笔记本电脑、台式电脑或者个人数字助理(Personal Digital Assistant,PDA)等终端设备,机器人的控制设备可以通过设备集群的方式设置。

[0083] 其中,可以理解的是,机器人的控制设备,还可集成在机器人中,或者直接为机器人本身。

[0084] 下面,开始介绍本申请提供的机器人的控制方法。

[0085] 首先,结合图1示出的本申请机器人的控制方法的一种场景示意图,参阅图2示出的本申请机器人的控制方法的一种流程示意图,本申请提供的机器人的控制方法,具体可包括如下步骤:

[0086] 步骤S201,当受控的机器人处于工作状态时,采集机器人的状态数据;

[0087] 步骤S202,将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型,得到机器人的关节电机的前馈力矩;

[0088] 步骤S203,提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩;

[0089] 步骤S204,在反馈力矩作为补偿控制源的基础上,根据前馈力矩生成控制力矩,并以控制力矩控制关节电机的工作。

[0090] 从图2所示实施例可看出,针对于机器人的碰撞检测处理,本申请搭建了一以动力学前馈为主体、反馈控制为辅助的机器人控制框架,在该框架下,将采集到的机器人的状态数据通过动力学模型,生成关节电机的前馈力矩,并将该关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩,视为外部作用力的观测器,作为补偿控制源,结合前馈力矩以及反馈力矩两者生成关节电机的控制力矩,以控制关节电机的工作,在该过程中,由于在未使用力矩传感器的条件下,为机器人的碰撞检测处理提供关节处的力矩数据,可避免配置力矩传感器带来的硬件成本以及构造改动成本。

[0091] 此外,本申请所提出的该机器人控制框架,针对于力矩控制,本申请还在反馈控制回路的基础上,配置了前馈控制回路,融合了预测控制和闭环控制两者的优点,可实现更为快速的力矩调节效率,进而为机器人的碰撞检测处理提供更为精确的力矩数据,实现更为精确、快速的碰撞响应处理。

[0092] 下面则对上述图2所示实施例的各个步骤及其在实际应用中可能的实现方式进行详细阐述。

[0093] 在本申请中,机器人具体可以为任意类型的机器人,当其应用本申请所提供的机器人的控制方法后,可在关节处为配置力矩传感器的情况下,仍可采集机器人的碰撞检测

处理所需的力矩数据。

[0094] 当然，可以理解的是，机器人也可配置力矩传感器，并可在与力矩传感器相对独立的情况下，通过应用的本申请所提供的机器人的控制方法，采集机器人的碰撞检测处理所需的力矩数据。结合力矩传感器采集的力矩数据以及忽略力矩传感器采集的力矩数据两者，还可进行数据比对、数据校正等一系列的数据处理，具体可随实际需要调整。

[0095] 针对机器人具体所需控制的关节，可以将其关节电机作为目标，部署闭环控制回路，将关节电机的输出作为被控量，结合设定的状态量进行比对，并根据两者的偏差进行控制，以达到消除偏差的目的。

[0096] 在闭环控制回路中，可通过反馈控制器进行控制，例如PID调节器、DCS调节器、PLC控制器等类型的控制器。

[0097] 闭环控制回路为常用在机器人控制系统中的控制方案，而在该基础上，本申请还引入了前馈控制回路，前馈控制回路，相比于闭环控制回路实现的闭环控制方式，其实现的是预测控制方式，通过动力学模型，对模型输入的机器人的状态数据进行动力学分析处理，输出前馈力矩，其可以理解为一种开环控制回路，将输入的状态数据作为扰动量，基于补偿原理，对关节电机进行预测性的力矩控制。

[0098] 如此，在反馈控制回路的基础上，配置了前馈控制回路，融合了预测控制和闭环控制两者的优点，可实现更为快速的力矩调节效率。

[0099] 其中，具体的，可叠加反馈控制回路的反馈力矩以及前馈控制回路的前馈力矩，得到控制力矩来控制关节电机。

[0100] 当然，还可引入更为复杂的数据处理策略，以更好得结合反馈力矩以及前馈力矩两者，生成更为精确有效的控制力矩来控制住关节电机。

[0101] 状态数据，具体可以为速度数据、加速度数据等预先选定的状态通过传感器直接测得或者间接测得的数据，又或者是通过元器件工作参数计算得到，例如通过电机的力矩常熟和电流值推算。

[0102] 在实际应用中，动力学模型可以为工作人员预先训练的模型，作为一种适于实用的实现方式，动力学模型除了可以为工作人员预先训练的固定参数、固定公式的集合，例如，使用拉格朗日法和牛顿-欧拉法，通过机器人具体形式确定机器人动力学辨识参数，设计激励轨迹获取机器人对应参数具体数值，动力学模型还可以为神经网络模型，从而以人工智能(Artificial Intelligence,AI)的方式，实现更为复杂、灵活的动力学模型处理机制。

[0103] 该神经网络模型具体可通过标注有对应前馈力矩的不同状态数据训练得到，如，依次将状态数据输入神经网络模型，进行前馈力矩的计算，进行模型的正向传播，并可根据模型输出的前馈力矩计算结果计算计算损失函数，优化模型的参数，进行模型的反向传播，当得到训练次数、训练时长、计算精度等训练目标时则可完成模型的训练。

[0104] 实际控制过程中，可将前馈控制回路作为主要控制源，将反馈控制回路作为补偿控制源，在动力学模型较精确的前提下，可认为反馈控制回路主要用于检测外界对机器人本体干扰的存在，即外部对其本身的干扰，由于反馈控制回路对抗干扰的作用，因此在原理上可将反馈力矩视作外部作用力的观测器，另外，机器人各关节电机的反馈控制回路可相互独立，因此可优选地直接使用各关节电机的反馈输出力矩作为干扰观测器。

[0105]　$\tau_{back} \approx \tau = \tau - \tau_{pre}$

[0106]　式中，τ表示实际采样的力矩值，τ_{pre}表示通过测量动力学模型预测的前馈力矩值，τ_{back}表示反馈控制回路作用的实际力矩值，用于观测外力的变化情况。

[0107]　而在上述机器人控制框架下，所提供的力矩数据，还可为机器人的碰撞检测处理提供数据支持，或者说，提供碰撞检测处理的判定标准和依据。

[0108]　例如，可以将反馈力矩做维护机器人的碰撞检测处理的输入量。

[0109]　作为一种具体的实现方式，基于反馈力矩所处的碰撞检测机制，可包括：

[0110]　将反馈力矩与反馈力矩突变阈值进行比对，反馈力矩突变阈值为机器人的碰撞事件配置的反馈力矩的突变阈值；

[0111]　若反馈力矩达到反馈力矩突变阈值，则确定发生机器人的碰撞事件，碰撞事件用于指示机器人发生碰撞。

[0112]　在该设置下，若监测的反馈力矩的值符合本申请提前为机器人发生的碰撞情况所配置的突变范围，显然，可认定机器人发生了碰撞，并生成一碰撞事件，供机器人做出相应的响应处理，以减少碰撞带来的损失。

[0113]　举例而言，该反馈力矩突变阈值除了可以为固定值，还可以是动态值，具体可以是跟随机器人的动态运动状态设置的，如此达到适配机器人的实时状态而灵活调整的效果，也就是说，可实现更为精确的碰撞检测。

[0114]　作为动态的反馈力矩突变阈值的一种具体计算方式，可通过以下计算公式计算得到：

[0115]　$$b(t) = \alpha_i v_i + \beta_i \tanh(a_i)(1 - \tanh(\varsigma_i v_i^{\mu_i})) + t_{0,i},$$

[0116]　其中，i用于指示关节电机所属关节的关节标识，v_i用于指示运行速度，a_i用于指示加速度，α_i用于指示第一增益，β_i用于指示第二增益，ς_i、μ_i分别用于指示tanh函数在零值附近的突变速度以及形式，$t_{0,i}$用于指示关节的基础偏置值，用于容许反馈力矩中用于补偿前馈的控制误差部分，可看作是模型误差，可以针对机器人做多组运行试验，确定动态阈值的上下界，其中每个关节根据实际情况设定上下界阈值用于碰撞方向判定。

[0117]　除了可检测是否发生了碰撞，当确定发生了碰撞后，还可对本次碰撞事件进行进一步的细化分析，判断碰撞特征，以方便根据碰撞特征，进行适配的控制切换。

[0118]　作为一种具体的实现方式，碰撞事件的分析处理，可包括：

[0119]　根据反馈力矩的力矩特征，确定碰撞事件的碰撞类型；

[0120]　根据碰撞类型，确定机器人对碰撞事件的安全响应策略；

[0121]　执行安全响应策略。

[0122]　可以理解，可提取反馈力矩的力矩特征，典型的可以根据其在短时间内的变化特征，分析其所处碰撞事件的碰撞类型，如此可根据具体的碰撞类型，执行不同的安全响应策略。

[0123]　在实际应用中，机器人在运动过程中由于运行状态、碰撞物体特性等不同，反映出来的碰撞特性也各不相同。

[0124]　优选地，将碰撞事件划分为以下几种：

[0125]　与刚性物体发生碰撞，如电气设备、墙体等；

[0126] 与柔性物体发生碰撞,如海绵、泡沫、电线、人体等;

[0127] 试探性碰撞,如人工有意或无意地进行探测性碰撞。

[0128] 具体地,基于采样力矩的幅值和频率特性对机器人进行碰撞特征分析。

[0129] 碰撞的一瞬间可认为发生碰撞的两物体在接触的过程中由运行速度降为0的过程,即两者将碰撞的能量反馈到反馈控制回路中,在进行碰撞分析时,需要根据与机器人发生碰撞的物体的运动状态进行区分:

[0130] 优选地,对静止物体进行区分,机器人在与物体进行接触时会由于物体表面的物理特性而发生不同的力矩反馈。刚性物体由于在压力作用下不易形变,在力矩反馈中呈现出迅速上升的情况;而柔性物体由于在压力作用下会呈现出非线性弹簧的特性,即机器人在与其接触的过程中,力矩反馈呈现出缓慢上升的情况,因此可以按照碰撞时的反馈力矩的增长速率在区分物体特性;

[0131] 优选地,在静止物体的基础上分析运动型物体,在不区分物体特性的基础之上,进行运动方向的区分。如果物体相如果运动物体与机器人运动方向相同,认定碰撞的条件是物体运动速度比机器人运动速度小,但由于碰撞时刻的绝对速度较小,所以在幅值上要比物体静止碰撞略低;当运动物体与机器人运动相向时,此时碰撞时刻的相对速度加高,因此在幅值上要比物体静止碰撞时略高。

[0132] 因此需要使用

[0133] 在无意识碰撞的基础上,优选地,当碰撞物体存在意识的情况下,碰撞的情况就与以上讨论情况有所不同,试探性碰撞一般存在时间短、冲击幅度大的情况,由于试探的过程中需要与机器人相向运动,并且一般速度要相对较大些,在高速运动中,为简化处理,物体表面特性可以忽略。所以可以与刚性物体相向运动的情况类似,不同的是试探性碰撞维持时间相较于被动碰撞的时间短很多,通常都是在碰撞后就直接撤离,因此可以将时间作为试探性碰撞与刚性碰撞的区分点。

[0134] 假设已知机器人在当前反馈力矩对应运行速度v下测得的刚性增长速度$\eta_{v,r}$、柔性增长速度$\eta_{v,f}$以及维持时长t_v,考虑到运行中的不确定因素,可增加偏置值来增加静止物体的判定范围,设置增长速度正向偏置$\eta_{v,f}^{+}$及增长速度负向偏置$\eta_{v,r}^{-}$。

[0135] 如此,后续在得到机器人的当前反馈力矩时,若确定对应运行速度为v,则其碰撞类型的确定可通过如下内容实现:

[0136] 确定当前反馈力矩的维持时长t以及增长速率η;

[0137] 若$\eta \geq \eta_{v,r} - \eta_{v,r}^{-}$、$t>t_v$,确定刚性物体碰撞类型;

[0138] 其中,a)若$\eta \geq \eta_{v,r} + w_r^{+}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人相向运动;b)若$\eta < \eta_{v,r} - w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人同向运动;c)若$\eta < \eta_{v,r} + w_r^{+}\eta_{v,r}$且$\eta \geq \eta_{v,r} - w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体为静止碰撞物体,$w_r^{+}$以及$w_r^{-}$分别为预设的刚性增长速度正向增益以及刚性增长速度负向增益;

[0139] 若$\eta < \eta_{v,f} + \eta_{v,f}^{+}$,确定柔性物体碰撞类型;

[0140] 其中,a)若$\eta \geq \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$,确定碰撞物体与机器人相向运行;b)若

$\eta < \eta_{v,f} - w_f^- \eta_{v,f}$，确定碰撞物体与机器人同向运动；c）若$\eta < \eta_{v,f} + w_f^+ \eta_{v,f}$且$\eta \geq \eta_{v,f} - w_f^- \eta_{v,f}$，确定碰撞物体为静止碰撞物体，$w_f^+$以及$w_f^-$分别为预设的柔性增长速度正向增益以及柔性增长速度负向增益。

[0141] 若未确定刚性物体碰撞类型，也未确定柔性物体碰撞类型，则确定试探性物体碰撞类型。

[0142] 上述作为判定依据的η，具体可通过速度幅值和单位时长之间的比值得到，同时，对于w_r^+、w_r^-、w_f^+、w_f^-这类增益参数，可是人为设置或者通过前期试验设置的，$\eta_{v,r}$-$\eta_{v,r}$还可与$\eta_{v,f}$+$\eta_{v,f}$相接，以尽量覆盖所有判断区域。

[0143] 此外，对于上述提及的$\eta_{v,r}$、$\eta_{v,f}$以及t_v，是可以预先根据机器人的实际情况设置的，即，在机器人在当前反馈力矩对应运行速度v下测得，或者，人工根据机器人在当前反馈力矩对应运行速度v下的工作状态下设置。

[0144] 进一步的，$\eta_{v,r}$、$\eta_{v,f}$以及t_v，还可以为实时确定的参数，以更灵活的方式贴近于实际情况，从而达到更为精确的碰撞类型的判断效果。

[0145] 示例性的，碰撞瞬间可以认为机器人的当前状态未发生变化，可根据机器人的当前工作状态确定$\eta_{v,r}$、$\eta_{v,f}$以及t_v，如，可根据机器人的当前运行速度或者加速度等当前工作状态的一种或者多种具体参数，确定$\eta_{v,r}$、$\eta_{v,f}$以及t_v，作为刚性、柔性、试探性物体碰撞类型的临界状态判定依据，本申请考虑到碰撞能量和维持时间分别与运行速度和加速度，呈正相关和负相关的关系，因此，可通过组合、变形等形式对运行速度、加速度等动态的当前工作状态具体参数，设置对应数据处理策略，以贴合实际情况，提高判定精度，具体可随实际需要调整，在此不再展开赘述。

[0146] 通过设定具体的判定依据对碰撞特征进行区别，作为后续安全响应策略的实施来源。

[0147] 在安全响应策略中，本申请根据实际情况，具体可配置以下几种类型的控制方式：

[0148] 1.直接停止

[0149] 当机器人发生碰撞后，为避免对碰撞双方造成进一步的伤害，最为直接也是简单的方式就是在碰撞检测发生的瞬间，直接停止机器人的运动，同时将各关节锁死。

[0150] 2.回退N帧或者回到指定安全位姿

[0151] 回退N帧即按照机器人运动轨迹的反方向运动，因机器人在发生碰撞前的历史运行轨迹是相对安全的，可以按照倒序的方式向机器人发送历史指令值。与之思想相同的是在机器人运动范围中指定一个安全位置，当发生碰撞时，令机器人直接返回指定的保证安全的机器人位姿。

[0152] 3.比例缩减运行

[0153] 在机器人运动过程中，可能会出现试探性的碰撞检测，这种情况只需要按比例缩小机器人的运动趋势，当进入试探性的碰撞检测后还是能够检测到碰撞的话，可以根据后续碰撞特征进入下一状态。

[0154] 4.零力控制/柔顺控制

[0155] 该控制形式一般发生在人机协作情境下。由于工作人员的主观能动性，可以对机器人做避障引导。另外，人工引导避障也能够避免未知的后续伤害，有利于保护机器人本

体。另外可根据工作场景选择时是否需要在排除碰撞因素后是否进行位置回复来选择柔顺控制和零力控制。

[0156]　上述采取的几种应对方式，如果实施单个策略只能够覆盖到部分的机器人运动情况，为尽可能覆盖到机器人运动情况，本申请具体还可针对上述提及的不同碰撞类型，配置适配的具体的安全响应策略内容：

[0157]　若碰撞类型为同向运动，则确定比例缩减运动趋势的安全响应策略。；

[0158]　若碰撞类型为相向运动且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0159]　若碰撞类型为相向运动且为柔性物体碰撞类型，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0160]　若碰撞类型为静止碰撞物体且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0161]　若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且处于人机协作环境，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0162]　若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且未处于人机协作环境，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略。

[0163]　具体的，在同向运动中，不考虑物体特性，由于物体运行速度相对于机器人过慢导致的碰撞。在降低损伤和不影响机器人运行轨迹的考虑，可以将机器人运行速度放缓，即比例缩减运行方式；

[0164]　具体地，在相向运动中，在工作场景中，可进行运动的设备一般都具有刚性材质的外壳来保护内部，而运动的柔性材质的物体可认定为人体。因此在进行相向运动的情况下，如刚性碰撞，可采取回退N帧或回到安全位置的方法来避免与相向运动物体进行再次碰撞；如柔性碰撞，则认定为与人体本身发生碰撞，则可采用零力控制或柔顺控制的方式来进行人为避障；

[0165]　具体地，在静止物体发生碰撞时，由于物体本身的位置不会发生变化，如果是刚性物体，为避免进一步损伤，可按照回退N帧或返回安全位置法；柔性物体需要考虑到是否存在人机协作场景，如存在，可假设柔性物体为人体，此时则需要按照零力控制或柔顺控制的方法；如不存在，则可按照刚性物体进行设定。

[0166]　此外，为进一步的对碰撞事件实现更为灵活、有效的安全响应，本申请还可在上述响应内容的基础上，增加了安全响应策略的策略状态转移处理，以应对在处理碰撞的过程中发生如再次碰撞等复杂情况。

[0167]　策略状态转移处理的具体内容，具体可参考图3示出的本申请策略状态转移处理的一种场景示意图，具体在此不再详细展开。

[0168]　其中，值得一提的是，如在机器人运行阶段，如果发生柔性碰撞后，可根据设定进行柔顺控制\零力控制模式由人工做进一步处理，如果在处理过程中再次遇到柔性碰撞或试探性碰撞后并不影响当前控制模式的运行，但在遇到刚性碰撞或后，则在实际应用中，可采取立即停止作为最优的响应方式。

[0169]　以上是本申请提供机器人的控制方法的介绍，为便于更好的实施本申请提供的机器人的控制方法，本申请还提供了机器人的控制装置。

[0170] 参阅图4,图4为本申请机器人的控制装置的一种结构示意图,在本申请中,机器人的控制装置400具体可包括如下结构:

[0171] 采集单元401,用于当受控的机器人处于工作状态时,采集机器人的状态数据;

[0172] 输入单元402,用于将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型,得到机器人的关节电机的前馈力矩;

[0173] 提取单元403,用于提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩;

[0174] 生成单元404,用于在反馈力矩作为补偿控制源的基础上,根据前馈力矩生成控制力矩;

[0175] 控制单元405,用于以控制力矩控制关节电机的工作。

[0176] 在又一种示例性的实现方式中,动力学模型具体为神经网络模型,神经网络模型是通过标注有对应前馈力矩的不同状态数据训练得到的。

[0177] 在又一种示例性的实现方式中,装置还包括判断单元406,用于:

[0178] 将反馈力矩与反馈力矩突变阈值进行比对,反馈力矩突变阈值为机器人的碰撞事件配置的反馈力矩的突变阈值;

[0179] 若反馈力矩达到反馈力矩突变阈值,则确定发生机器人的碰撞事件,碰撞事件用于指示机器人发生碰撞。

[0180] 结合本申请第二方面第二种可能的实现方式,在本申请第二方面第三种可能的实现方式中,反馈力矩突变阈值是跟随机器人的动态运动状态设置的,反馈力矩突变阈值通过以下计算公式计算得到:

[0181] $b(t)=\alpha_i v_i+\beta_i \tanh(a_i)(1-\tanh(\varsigma_i v_i^{\mu_i}))+t_{0,i}$,

[0182] 其中,i用于指示关节电机所属关节的关节标识,v_i用于指示运行速度,a_i用于指示加速度,α_i用于指示第一增益,β_i用于指示第二增益,ς_i、μ_i分别用于指示tanh函数在零值附近的突变速度以及形式,$t_{0,i}$用于指示关节的基础偏置值。

[0183] 在又一种示例性的实现方式中,装置还包括响应单元407,用于:

[0184] 根据反馈力矩的力矩特征,确定碰撞事件的碰撞类型;

[0185] 根据碰撞类型,确定机器人对碰撞事件的安全响应策略;

[0186] 执行安全响应策略。

[0187] 在又一种示例性的实现方式中,响应单元407,具体用于:

[0188] 确定反馈力矩的维持时长t以及增长速率η;

[0189] 若$\eta \geq \eta_{v,r}-\eta_{v,r}^{-}$、$t>t_v$,确定刚性物体碰撞类型,$\eta_{v,r}$以及$t_v$分别为机器人在反馈力矩对应当前速度v下测得的刚性增长速度以及维持时长,$\eta_{v,r}^{-}$为预设的增长速度负向偏置;

[0190] 其中,若$\eta \geq \eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人相向运动;若$\eta < \eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体与机器人同向运动;若$\eta < \eta_{v,r}+w_r^{+}\eta_{v,r}$且$\eta \geq \eta_{v,r}-w_r^{-}\eta_{v,r}$,确定碰撞物体为静止碰撞物体,$w_r^{+}$以及$w_r^{-}$分别为预设的刚性增长速度正向增益以及刚性增长速度负向增益;

[0191] 若$\eta < \eta_{v,f}+\eta_{v,f}^{+}$,确定柔性物体碰撞类型,$\eta_{v,f}$为机器人在反馈力矩对应当前速度v

下测得的柔性增长速度，$\eta_{v,f}^{+}$为预设的增长速度正向偏置；

[0192] 其中，若$\eta \geq \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体与机器人相向运行；若$\eta < \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体与机器人同向运动；若$\eta < \eta_{v,f} + w_f^{+}\eta_{v,f}$且$\eta \geq \eta_{v,f} - w_f^{-}\eta_{v,f}$，确定碰撞物体为静止碰撞物体，$w_f^{+}$以及$w_f^{-}$分别为预设的柔性增长速度正向增益以及柔性增长速度负向增益；

[0193] 若未确定刚性物体碰撞类型，也未确定柔性物体碰撞类型，则确定试探性物体碰撞类型。

[0194] 在又一种示例性的实现方式中，响应单元，具体用于：

[0195] 若碰撞类型为同向运动，则确定比例缩减运动趋势的安全响应策略；

[0196] 若碰撞类型为相向运动且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0197] 若碰撞类型为相向运动且为柔性物体碰撞类型，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0198] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为刚性物体碰撞类型，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略；

[0199] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且处于人机协作环境，则确定零力控制或者柔顺控制的安全响应策略；

[0200] 若碰撞类型为静止碰撞物体且为柔性物体碰撞类型且未处于人机协作环境，则确定回退N帧运行轨迹或者返回指定安全位姿的安全响应策略。

[0201] 本申请还提供了机器人的控制设备，参阅图5，图5示出了本申请机器人的控制设备的一种结构示意图，具体的，本申请机器人的控制设备可包括处理器501、存储器502以及输入输出设备503，处理器501用于执行存储器502中存储的计算机程序时实现如图1对应实施例中机器人的控制方法的各步骤；或者，处理器501用于执行存储器502中存储的计算机程序时实现如图4对应实施例中各单元的功能，存储器502用于存储处理器501执行上述图1对应实施例中机器人的控制方法所需的计算机程序。

[0202] 示例性的，计算机程序可以被分割成一个或多个模块/单元，一个或者多个模块/单元被存储在存储器502中，并由处理器501执行，以完成本申请。一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，该指令段用于描述计算机程序在计算机装置中的执行过程。

[0203] 机器人的控制设备可包括，但不仅限于处理器501、存储器502、输入输出设备503。本领域技术人员可以理解，示意仅仅是机器人的控制设备的示例，并不构成对机器人的控制设备的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件，例如机器人的控制设备还可以包括网络接入设备、总线等，处理器501、存储器502、输入输出设备503以及网络接入设备等通过总线相连。

[0204] 处理器501可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU)，还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、

分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等，处理器是机器人的控制设备的控制中心，利用各种接口和线路连接整个设备的各个部分。

[0205] 存储器502可用于存储计算机程序和/或模块，处理器501通过运行或执行存储在存储器502内的计算机程序和/或模块，以及调用存储在存储器502内的数据，实现计算机装置的各种功能。存储器502可主要包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序等；存储数据区可存储根据机器人的控制设备的使用所创建的数据等。此外，存储器可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器，例如硬盘、内存、插接式硬盘，智能存储卡(Smart Media Card,SMC)，安全数字(Secure Digital,SD)卡，闪存卡(Flash Card)、至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。

[0206] 处理器501用于执行存储器502中存储的计算机程序时，具体可实现以下功能：

[0207] 当受控的机器人处于工作状态时，采集机器人的状态数据；

[0208] 将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型，得到机器人的关节电机的前馈力矩；

[0209] 提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩；

[0210] 在反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据前馈力矩生成控制力矩，并以控制力矩控制关节电机的工作。

[0211] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的机器人的控制装置、设备及其相应单元的具体工作过程，可以参考如图1对应实施例中机器人的控制方法的说明，具体在此不再赘述。

[0212] 本领域普通技术人员可以理解，上述实施例的各种方法中的全部或部分步骤可以通过指令来完成，或通过指令控制相关的硬件来完成，该指令可以存储于一计算机可读存储介质中，并由处理器进行加载和执行。

[0213] 为此，本申请提供一种计算机可读存储介质，其中存储有多条指令，该指令能够被处理器进行加载，以执行本申请如图1对应实施例中机器人的控制方法中的步骤，具体操作可参考如图1对应实施例中机器人的控制方法的说明，在此不再赘述。

[0214] 其中，该计算机可读存储介质可以包括：只读存储器(Read Only Memory,ROM)、随机存取记忆体(Random Access Memory,RAM)、磁盘或光盘等。

[0215] 由于该计算机可读存储介质中所存储的指令，可以执行本申请如图1对应实施例中机器人的控制方法中的步骤，因此，可以实现本申请如图1对应实施例中机器人的控制方法所能实现的有益效果，详见前面的说明，在此不再赘述。

[0216] 以上对本申请提供的机器人的控制方法、装置、设备以及计算机可读存储介质进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想；同时，对于本领域的技术人员，依据本申请的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

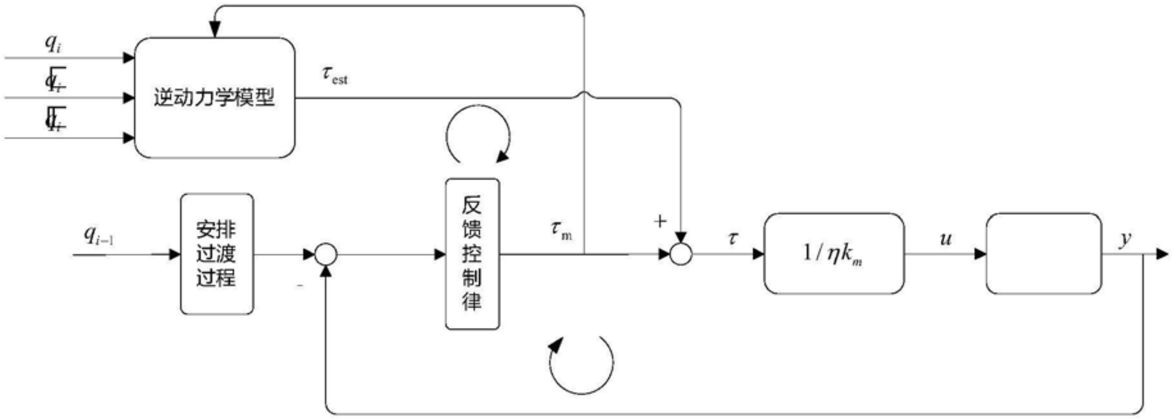

q_i
逆动力学模型
τ_{est}
q_{i-1}
安排过渡过程
反馈控制律
τ_m
+
τ
$1/\eta k_m$
u
y

图1

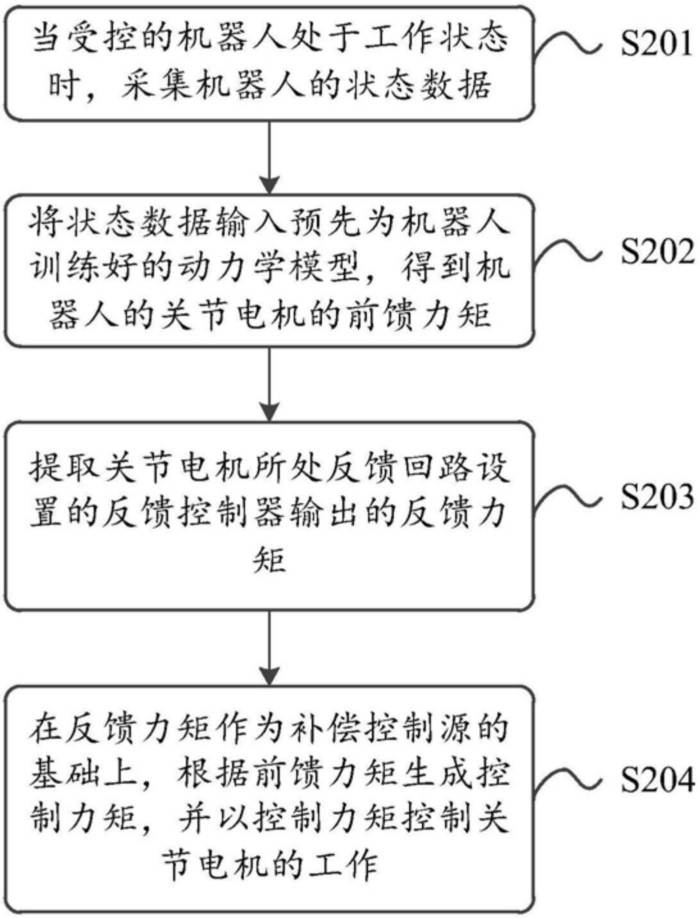

当受控的机器人处于工作状态时，采集机器人的状态数据
S201
将状态数据输入预先为机器人训练好的动力学模型，得到机器人的关节电机的前馈力矩
S202
提取关节电机所处反馈回路设置的反馈控制器输出的反馈力矩
S203
在反馈力矩作为补偿控制源的基础上，根据前馈力矩生成控制力矩，并以控制力矩控制关节电机的工作
S204

图2

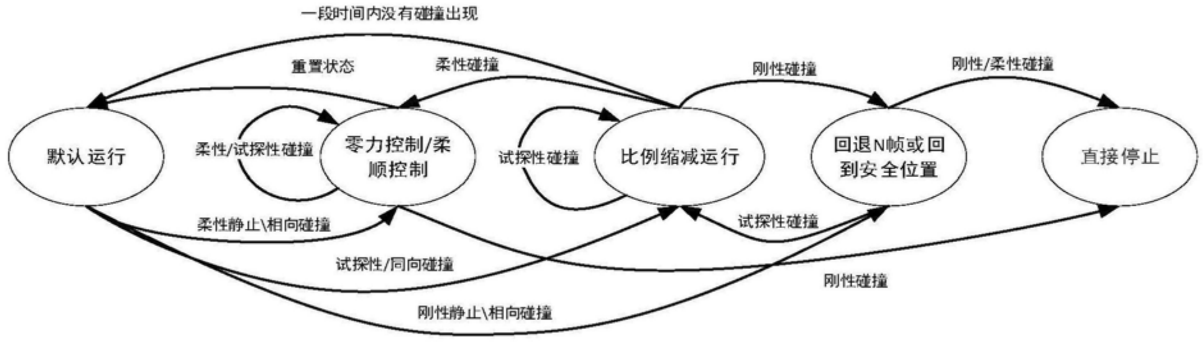

一段时间内没有碰撞出现
重置状态
柔性碰撞
刚性碰撞
刚性/柔性碰撞
默认运行
柔性/试探性碰撞
零力控制/柔顺控制
试探性碰撞
比例缩减运行
回退N帧或回到安全位置
直接停止
柔性静止\相向碰撞
试探性碰撞
试探性/同向碰撞
刚性碰撞
刚性静止\相向碰撞

图3

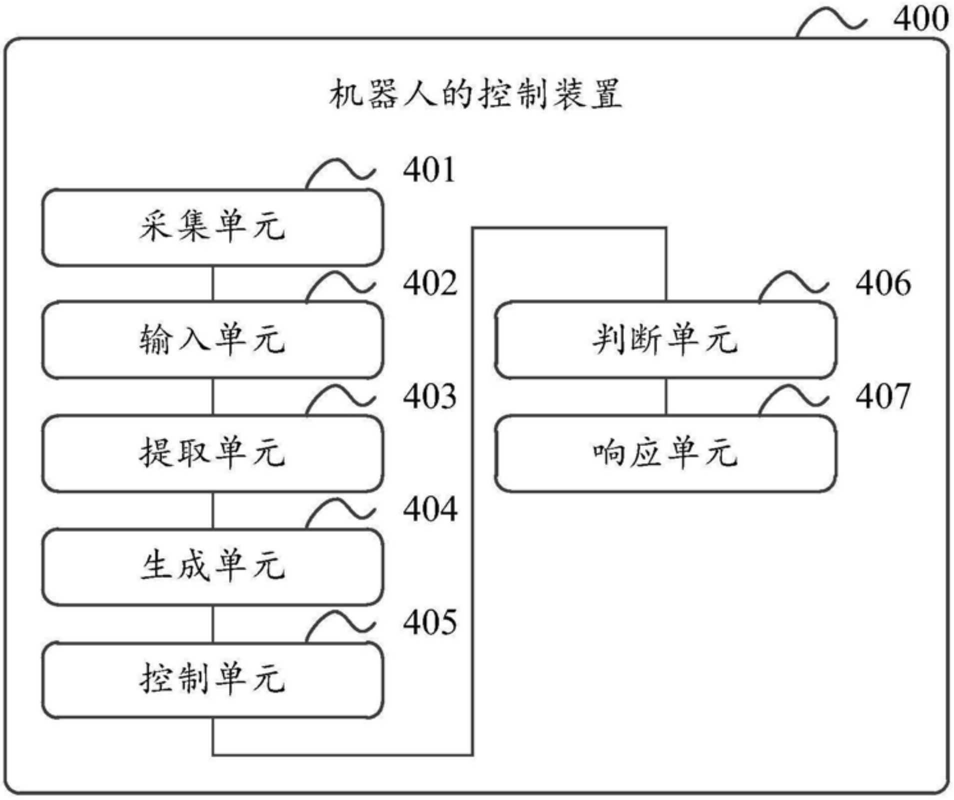

400
机器人的控制装置
401
采集单元
402
输入单元
403
提取单元
404
生成单元
405
控制单元
406
判断单元
407
响应单元

图4

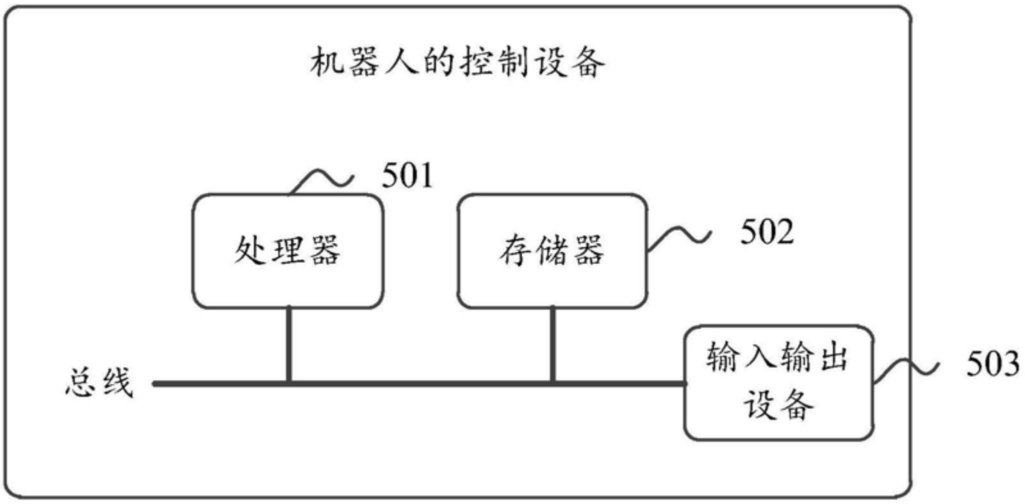


图5